UFC6

Manual de Utilização

C.1 – INTRODUÇÃO

O programa UFC6 Versão 1.0 é parte integrante da Dissertação de Mestrado intitulada Modelagem Computacional de Dispositivos de Atenuação do Golpe de Aríete em Adutoras. O programa foi desenvolvido com o objetivo de determinar o comportamento do transitório hidráulico em tubulações de recalque de água utilizando-se do Método das Características e das equações características de equipamentos normalmente encontrados nos sistemas hidráulicos.

Procurou-se desenvolver um programa de fácil utilização e que possibilite o usuário visualizar o comportamento das ondas de sobrepressão e subpressão decorrentes do fenômeno transitório, além de verificar a influência de diversos dispositivos de atenuação dos golpes de aríete.

C.2 – ENTRADA DE DADOS

O programa UFC6 Versão 1.0 é de fácil utilização e visualização dos resultados. Pode-se dar início procedimento de entrada de dados de duas formas diferentes: utilizando-se um arquivo de entrada de dados nos formatos de texto (*.txt) ou *Transientes Hidráulicos* (*.pth), ou, ainda, digitando-se um a um os dados de entrada necessários para se efetuar o cálculo do golpe de aríete.

O usuário pode optar pela entrada manual, bastando para isso dar início a entrada de dados. Escolhida essa opção, deve-se digitar um a um os dados necessários. Esse procedimento é demorado e susceptível a erros, por esse motivo, recomenda-se, na medida do possível, a utilização de estrada automática de dados.

C.2.1 – Entrada Manual de Dados

<u>Carregando um perfil</u>

Através do menu *Arquivo>Carregar Perfil*, o usuário pode acessar o formulário *Carregar Perfil*, devendo entrar com os dados necessários para o traçado do perfil da adutora. Tais dados são: Número de trechos, comprimentos (m), diâmetros (m) e cotas de montante e jusante (m).

Trecho	Comp.(m)	Diâm.(m)	Cota Mont.(m)	Cota Jus.(m)
1	500.00	0.150	254.00	262.70
2	300.00	0.150	262.70	251.20
3	400.00	0.150	251.20	267.00
4	700.00	0.150	267.00	246.00
5	800.00	0.150	246.00	273.00
6	400.00	0.150	273.00	259.20
7	500.00	0.150	259.20	269.50
8	900.00	0.150	269.50	260.00
9	400.00	0.150	260.00	273.00
10	600.00	0.150	273.00	273.00

Figura C.1 – Formulário Carregar Perfil

O usuário tanto poderá digitar os dados diretamente na tabela, como também importa-los de um arquivo de texto (*.txt), clicando no botão *Importar*.

ATENÇÃO: O usuário também poderá salvar em arquivo de texto (*.txt) os dados digitados diretamente na tabela, clicando no botão *Salvar*. Para tal, deve-se certificar que a configuração do símbolo decimal nas opções regionais do painel de controle do computador em uso seja a opção “.” (ponto).

O arquivo gerado poderá ser importado pelo formulário para a entrada automática de dados, e tem o seguinte formato:

PROJETO - Adutora Sertaneja.txt - Notepad

File Edit Format View Help

23

500.00	0.150	254.00	262.70
300.00	0.150	262.70	251.20
400.00	0.150	251.20	267.00
700.00	0.150	267.00	246.00
800.00	0.150	246.00	273.00
400.00	0.150	273.00	259.20
500.00	0.150	259.20	269.50
900.00	0.150	269.50	260.00
400.00	0.150	260.00	273.00
600.00	0.150	273.00	273.00
1200.00	0.150	273.00	309.70
400.00	0.150	309.70	296.10
400.00	0.150	296.10	318.50
200.00	0.150	318.50	307.50
700.00	0.150	307.50	347.50
200.00	0.150	347.50	323.50
800.00	0.150	323.50	357.20
500.00	0.150	357.20	321.80
300.00	0.150	321.80	344.20
300.00	0.150	344.20	325.70
500.00	0.150	325.70	365.00
300.00	0.150	365.00	358.50
160.00	0.150	358.50	366.00

Figura C.2 – Entrada Manual de Dados – Arquivo Texto (*.txt)

Clicando-se em *OK* no formulário *Carregar Perfil*, é traçado o perfil da adutora.

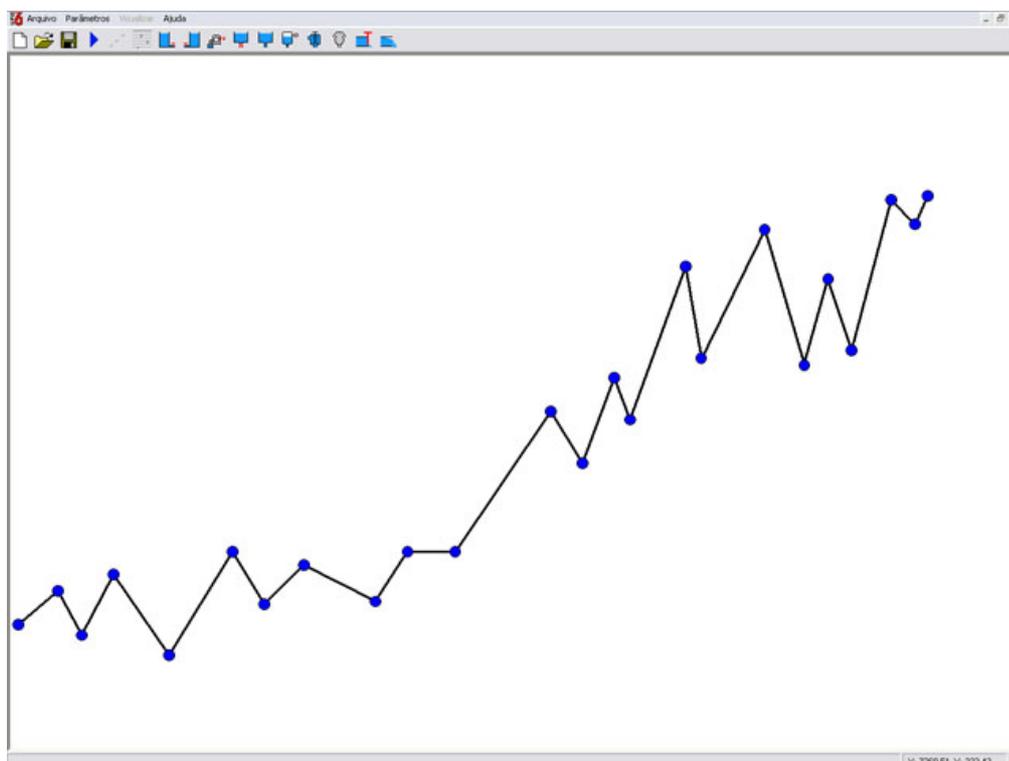



Figura C.3 – Perfil Carregado

Parâmetros do projeto

Através do menu *Parâmetros*, o usuário pode acessar o formulário *Parâmetros do Projeto*, devendo entrar com os dados necessários para o cálculo do transiente. Tais dados são: Nome do projeto, descrição do projeto (se necessário), tempo de duração da simulação (s), número de divisões do menor trecho, módulo de elasticidade volumétrica do fluido (GPa), densidade do fluido (kg/m³), Viscosidade cinemática do fluido (m²/s).

Os valores referentes aos três últimos parâmetros correspondem ao fluido verificado. O UFC6 utiliza água como fluido padrão.

Figura C.4 – Formulário Parâmetros do Projeto

- Número de divisões do menor trecho a verificar: Como o método utiliza o mesmo intervalo de tempo computacional para todos os trechos do sistema, deve-se escolher um trecho (no caso o de menor comprimento) para se padronizar esse intervalo de tempo. Assim, o programa necessita saber em quantos segmentos o menor trecho será dividido. O programa calcula então o intervalo de tempo computacional entre as seções desse trecho e assume igual para os demais trechos do sistema. Para isso, o programa ajusta o valor da celeridade de onda fazendo pequenas alterações em seus valores.

Adicionando dados dos trechos

Ao mover o *cursor do mouse* para perto de um trecho até este ser selecionado (cor vermelha) e clicando com o *botão direito*, o usuário poderá adicionar as características desse trecho através do formulário *Dados do Trecho*.

Figura C.5 – Formulário Dados do Trecho

Por meio de duas caixas de texto com listas *dropdown*, o usuário poderá selecionar:

Tipos de Material da Tubulação
Aço
Concreto
Ferro Fundido
PVC Rígido*
Outro

*Valor padrão

Para todos os materiais, exceto *Outro*, os valores de Módulo de Elasticidade (GPa), de Rugosidade (mm) e do Coeficiente de Poisson são pré-determinados.

Tipo de Ancoragem da Tubulação
Conduto rígido
Ancorado contra movimento longitudinal*
Uma extremidade ancorada
Com juntas de dilatação

*Valor padrão

Existe ainda a opção de o usuário entrar com valores de Celeridade e Fator de Atrito de Darcy-Weisbach específicos, clicando nas respectivas caixas de seleção.

Adicionando dados dos nós

O usuário poderá adicionar as características desse nó através do formulário *Dados do Nó*. Para tal, existem duas formas de adicionar contornos aos nós:

1. Ao mover o *cursor do mouse* para perto de um nó até este ser selecionado (cor vermelha) e clicando com o *botão direito*;

2. Clicar com o *botão direito do mouse* no ícone referente ao contorno desejado na barra de ferramentas e, em seguida, clicar com o *botão esquerdo do mouse* no nó.

O usuário deverá selecionar o contorno desejado através da lista *dropdown* da caixa de texto, e especificar os dados referentes ao contorno clicando no *botão* >>.

Figura C.6 – Formulário Dados do Nó

Reservatório de Montante, Bomba e Válvula de Retenção

Figura C.7 – Formulário Bomba

Dados da Bomba	Considerações
Número de Bombas em Paralelo	-
Vazão total do sistema (m³/s)	Soma da vazão de todas as bombas;
Número de rotações da bomba (rpm)	-
Tempo de duração da simulação (s)	Tempo total de simulação do fenômeno transitório. Esse tempo é limitado à capacidade de armazenamento de informações do programa, que, por sua vez, é função do tempo computacional e do número de seções a simular;
Vazão da bomba em regime permanente (m³/s)	Vazão de cada bomba em paralelo antes do corte de energia (estado permanente);
Altura manométrica do sistema (m)	Altura geométrica de recalque mais a perda de carga total do sistema;
Rotação de maior eficiência (rpm)	Rotação de maior rendimento;
Rendimento por bomba	Valor entre 0 e 1;
Momento de inércia das massas girantes (kg.m²)	Soma do momento de inércia da bomba com o do motor.

Dispositivos de atenuação do golpe de aríete

O usuário deverá indicar se há dispositivo de alívio do golpe aríete. Os dispositivos disponibilizados pelo programa são:

Tanque de Alimentação Unidirecional (TAU) ou One-Way

Figura C.8 – Formulário One-Way

Dados do TAU	Considerações
Diâmetro do TAU (m)	O programa considera um TAU de base cilíndrica;
Nível de água inicial (m)	Altura relativa à base do TAU;
Diâmetro dos tubos de ligação (mm)	Usualmente, para garantir o pleno funcionamento do dispositivo, os projetistas dimensionam dois tubos de ligação de diâmetros iguais. O usuário do UFC6 precisa apenas inserir o diâmetro de um dos tubos que o programa calculará o diâmetro equivalente dos dois tubos.
Coeficiente de perda de carga localizada	-

Reservatório Hidropneumático

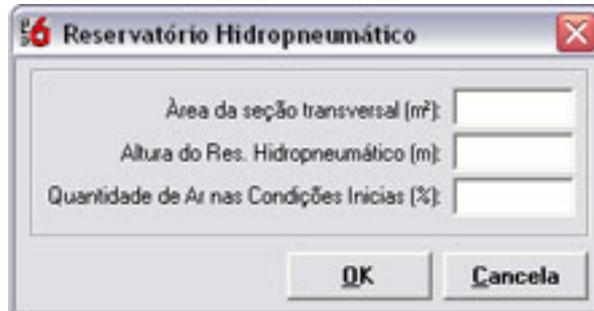
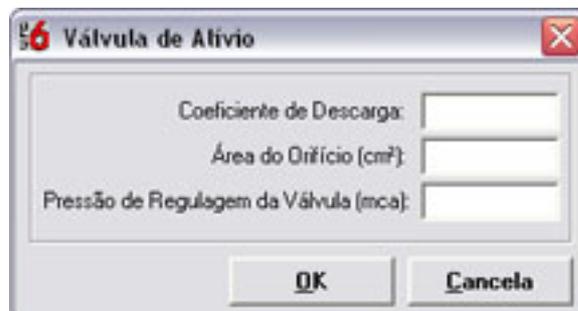



Figura C.9 – Formulário Reservatório Hidropneumático

Dados do Res. Hidropneumático	Considerações
Área da base (m^2)	O programa considera um reservatório de base cilíndrica;
Altura (m)	Distância da base até a parte superior;
Quantidade de ar nas condições iniciais (%)	Porcentagem de volume de ar do reservatório hidropneumático nas condições iniciais (regime permanente).

Válvula de Alívio

Figura C.10 – Formulário Válvula de Alívio

Dados da Válvula de Alívio	Considerações
Coeficiente de descarga	Variação entre 0,5 e 0,6.
Área do orifício (cm²)	-
Pressão de regulagem da Válvula (mca)	-

Chaminé de Equilíbrio

Figura C.11 – Formulário Chaminé de Equilíbrio

Dados da Chaminé de Equilíbrio	Considerações
Diâmetro do Chaminé de equilíbrio (m)	O programa considera um TAU de base cilíndrica;
Nível de água inicial (m)	Altura relativa à base da chaminé;
Diâmetro dos tubos de ligação (mm)	-
Coeficiente de perda de carga localizada	-

Salvando o projeto

Após executar o procedimento de entrada de manual de dados, o usuário poderá salvar o projeto acessando o menu *Arquivo>Salvar Projeto*. O Programa irá salvar os dados do projeto em um arquivo no formato *Transientes Hidráulicos* (*.pth) cujo nome será dado pelo usuário, e servirá para a posterior entrada automática de dados.

C.2.2 – Entrada Automática de Dados

O usuário pode optar também pela entrada de dados automática. Para isso, deverá utilizar arquivos de formato *Transientes Hidráulicos* (*.pth).

```
PROJETO - Adutora Sertaneja .pth - Notepad
File  Edit  Format  View  Help
PROJETO ADUTORA SERTANEJA
Análise do transiente hidráulico
23
500.00     0.150     0.0068     254.00     262.70
300.00     0.150     0.0068     262.70     251.20
400.00     0.150     0.0068     251.20     267.00
700.00     0.150     0.0068     267.00     246.00
800.00     0.150     0.0068     246.00     273.00
400.00     0.150     0.0068     273.00     259.20
500.00     0.150     0.0068     259.20     269.50
900.00     0.150     0.0068     269.50     260.00
400.00     0.150     0.0068     260.00     273.00
600.00     0.150     0.0068     273.00     273.00
1200.00    0.150     0.0068     273.00     309.70
400.00     0.150     0.0068     309.70     296.10
400.00     0.150     0.0068     296.10     318.50
200.00     0.150     0.0068     318.50     307.50
700.00     0.150     0.0068     307.50     347.50
200.00     0.150     0.0068     347.50     323.50
800.00     0.150     0.0068     323.50     357.20
500.00     0.150     0.0068     357.20     321.80
300.00     0.150     0.0068     321.80     344.20
300.00     0.150     0.0068     344.20     325.70
500.00     0.150     0.0068     325.70     365.00
300.00     0.150     0.0068     365.00     358.50
160.00     0.150     0.0068     358.50     366.00
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
3          1         0.40       3.00E+10   0.0000015
2
1          0.0158    3500       0.0158     167.00     3500     0.68     0.72
11
11
11
11
11
11
11
11
11
11
11
11
11
11
11
11
11
11
11
11
```

Figura C.12 – Entrada Automática de Dados – Arquivo Transientes Hidráulicos (*.pth)

O formato **.pth* reúne todas as características do projeto, de modo que, se utilizado como entrada, o usuário deverá apenas executar o cálculo do transiente hidráulico.

Compõem o formato **.pth* (exemplo acima):

Linhas	Descrição
1	Nome do projeto;
2	Descrição do projeto;
3	Número de trechos;
4 a 26	Dados dos trechos – Comprimento (m), Diâmetro (m), Espessura das paredes da tubulação (m), Cota de montante (m) e Cota de jusante (m);
27 a 49	Dados dos trechos – Material da tubulação, Tipo de Ancoragem, Coeficiente de Poisson, Módulo de Elasticidade do Material (GPa) e Rugosidade da tubulação (mm) (ver Tabelas C.1 e C.2);
50 a 74	Dados dos nós (elementos de contornos). Cada elemento de contorno possui um número identificador e dados específicos. (ver Tabelas C.3)
75	Parâmetros do projeto – Tempo de duração da simulação (s), módulo de elasticidade volumétrica do fluido (GPa), densidade do fluido (kg/m³),Número de divisões do último trecho e Viscosidade cinemática do fluido (m²/s).

Identificador	Material da Tubulação
0	Aço
1	Concreto
2	Ferro Fundido
3	PVC Rígido
4	Outro

Tabela C.1 – Identificadores – Material da Tubulação

Identificador	Tipo de Ancoragem
0	Conduto rígido
1	Ancorado contra movimento longitudinal
2	Uma extremidade ancorada
3	Com juntas de dilatação

Tabela C.2 – Identificadores – Material da Tubulação

Identificador	Tipo de Ancoragem
0	Reservatório de montante
1	Reservatório de jusante
2	Res. de Montante, bomba e válvula de retenção
3	TAU ou One-Way
4	Chaminé de Equilíbrio
5	Reservatório Hidropneumático
6	Ventosa *
7	Válvula de alívio
8	Válvula de controle *
9	Saída livre *
10	Extremidade fechada *
11	Junção

* Elementos de contorno a serem implementados posteriormente

Tabela C.3 – Identificadores – Elementos de Contorno

OBS: O usuário deverá inserir os dados específicos de cada elemento de contorno no arquivo de formato **.pth* na mesma ordem em que foram apresentados.

Do exemplo:

- Linha 50: refere-se ao Reservatório de montante, bomba e válvula de retenção (*identificador 2*);

- Linha 51: refere-se aos dados específicos do Reservatório de montante, bomba e válvula de retenção;
- Linhas 52 a 73: referem-se à Junção (*identificador 11*);
- Linha 74: refere-se ao Reservatório de jusante (*identificador 1*).

C.3 – CÁLCULO DO TRANSIENTE

Finalizada a entrada de dados, o usuário pode dar início o processo de cálculo propriamente dito. Para isso, basta clicar no botão *Executar* , localizado na *barra de ferramentas*.

O formulário *Cálculo do Transitório* será carregado. O usuário deverá clicar no botão *OK* e esperar até que a barra de processamento atinja 100%. Logo após, poderá verificar os resultados da simulação clicando no botão *Resultados*>>.

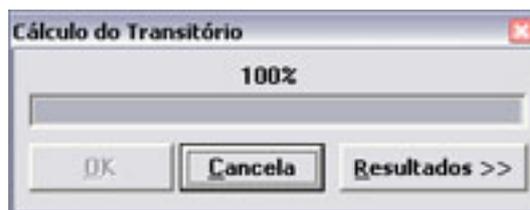



Figura C.13 – Formulário Cálculo do Transitório

Envoltórias de pressão máxima e mínima na adutora

O usuário pode visualizar os resultados da simulação através das envoltórias de pressão máxima e mínima na adutora.

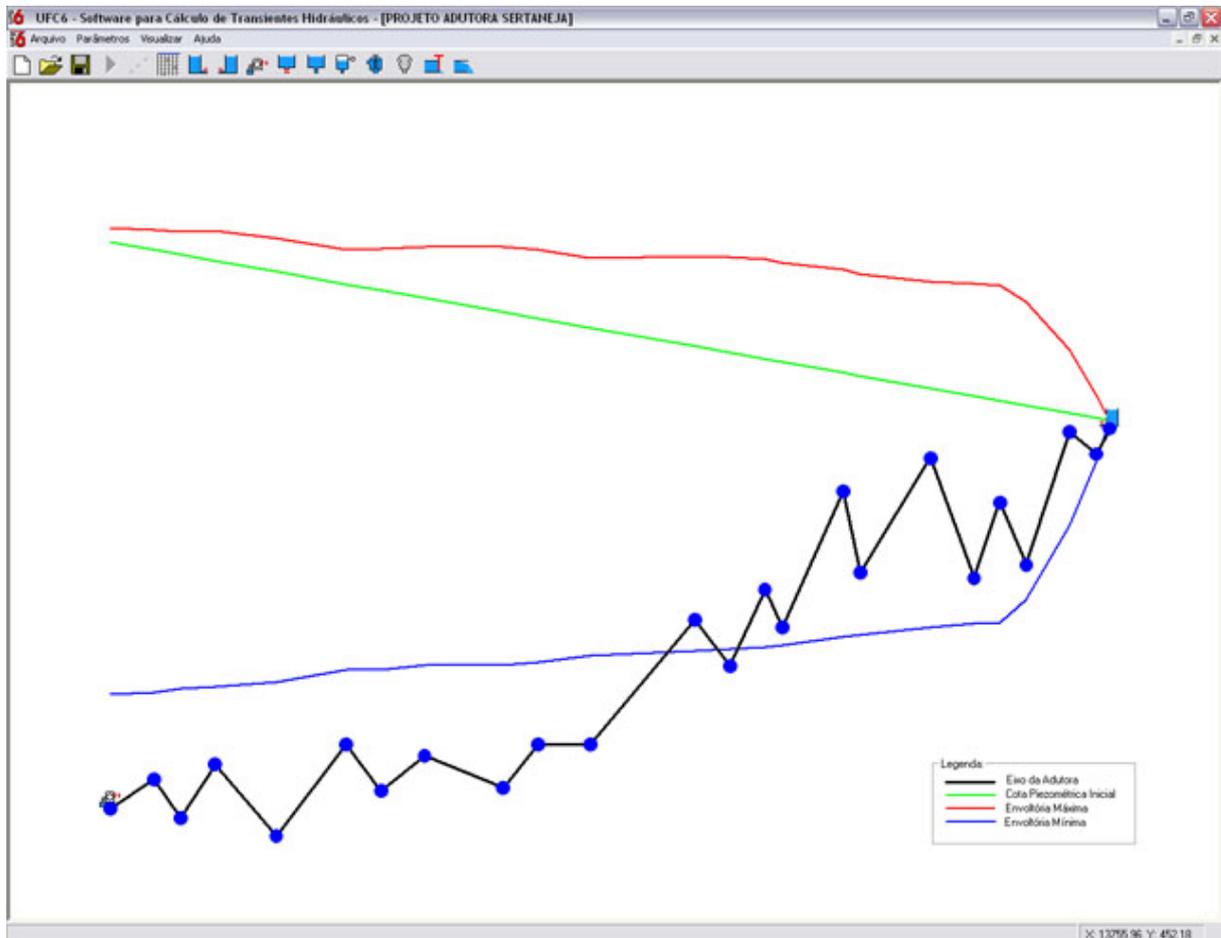



Figura C.14 – Envoltórias Máximas e Mínimas Calculadas

Acessando o menu *Visualizar>Envoltórias*, programa fornece também a pressão máxima e mínima em toda a adutora durante o transitório hidráulico.

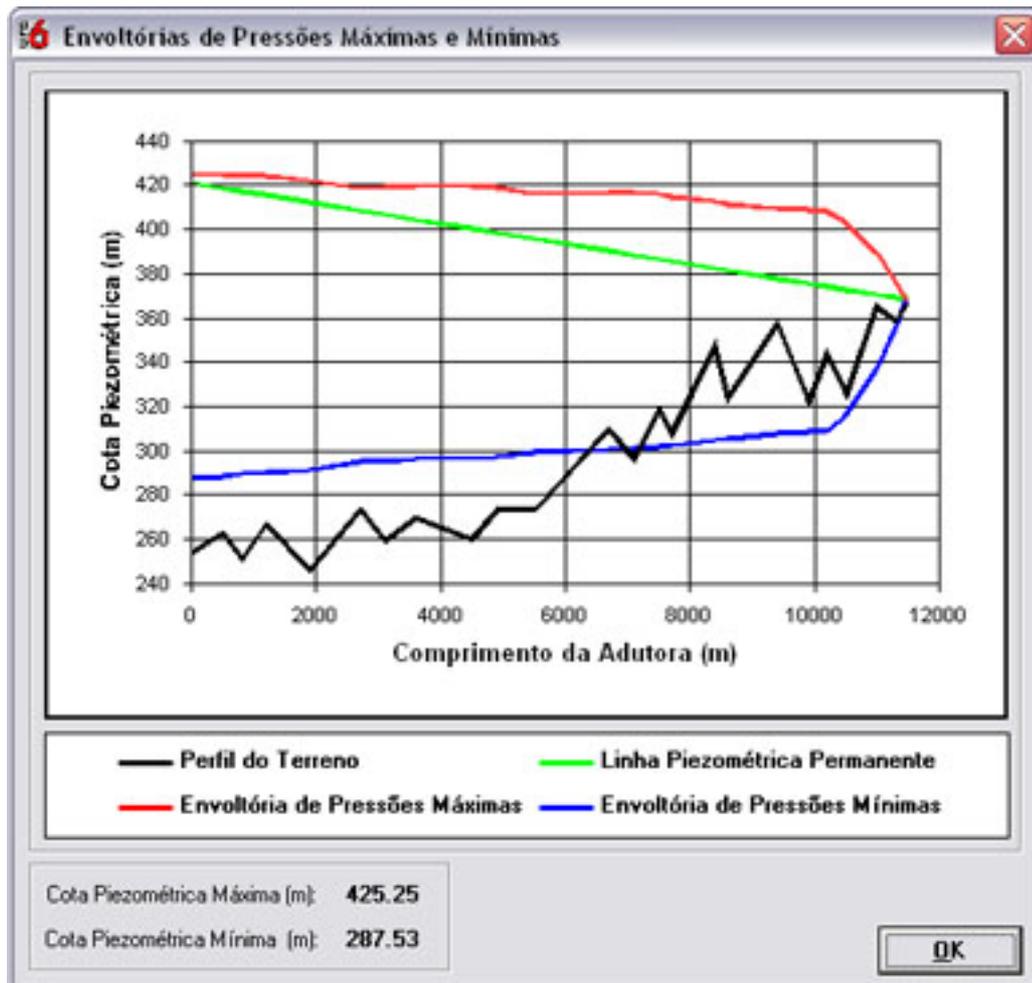



Figura C.15 – Formulário Envoltórias

<u>Planilhas</u>

Através do menu *Visualizar>Planilhas* ou do ícone *Planilha* da *barra de ferramentas*, o usuário pode verificar o resumo de cálculo por trecho e por nó, bastando clicar na guia superior de cada planilha.

Trecho	Comp.(m)	Diâm.(m)	Cota Mont.(m)	Cota Jus.(m)	Espessura(m)	Cel.Inic.(m/s)	Cel.Fin.(m/s)	%	Material	Ancoragem
1	500.00	0.150	254.00	262.70	0.0068	937.09	976.14	4.00	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal
2	300.00	0.150	262.70	251.20	0.0068	937.09	878.53	-6.67	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal
3	400.00	0.150	251.20	267.00	0.0068	937.09	937.09	0.00	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal
4	700.00	0.150	267.00	246.00	0.0068	937.09	911.06	-2.86	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal
5	800.00	0.150	246.00	273.00	0.0068	937.09	937.09	0.00	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal
6	400.00	0.150	273.00	259.20	0.0068	937.09	937.09	0.00	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal
7	500.00	0.150	259.20	269.50	0.0068	937.09	976.14	4.00	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal
8	900.00	0.150	269.50	260.00	0.0068	937.09	958.39	2.22	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal
9	400.00	0.150	260.00	273.00	0.0068	937.09	937.09	0.00	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal
10	600.00	0.150	273.00	273.00	0.0068	937.09	878.53	-6.67	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal
11	1200.00	0.150	273.00	309.70	0.0068	937.09	937.09	0.00	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal
12	400.00	0.150	309.70	296.10	0.0068	937.09	937.09	0.00	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal
13	400.00	0.150	296.10	318.50	0.0068	937.09	937.09	0.00	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal
14	200.00	0.150	318.50	307.50	0.0068	937.09	780.91	-20.00	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal
15	700.00	0.150	307.50	347.50	0.0068	937.09	911.06	-2.86	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal
16	200.00	0.150	347.50	323.50	0.0068	937.09	780.91	-20.00	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal
17	800.00	0.150	323.50	357.20	0.0068	937.09	937.09	0.00	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal
18	500.00	0.150	357.20	321.80	0.0068	937.09	976.14	4.00	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal
19	300.00	0.150	321.80	344.20	0.0068	937.09	878.53	-6.67	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal
20	300.00	0.150	344.20	325.70	0.0068	937.09	878.53	-6.67	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal
21	500.00	0.150	325.70	365.00	0.0068	937.09	976.14	4.00	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal
22	300.00	0.150	365.00	358.50	0.0068	937.09	878.53	-6.67	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal
23	160.00	0.150	358.50	366.00	0.0068	937.09	937.09	0.00	PVC Rígido	Ancorado contra mov. longitudinal

Figura C.16 – Formulário Planilhas

Resultados por Seção

Em seguida, através do menu *Visualizar>Seções,* o usuário poderá visualizar o comportamento do transitório hidráulico em cada seção da adutora. Esse formulário apresenta duas opções de visualização do transitório: carga (m) e vazão (m³/s). De acordo com o opção de gráfico e a seção selecionadas, pode-se verificar os seguintes dados:

- Cota Piezométrica Máxima (m)
- Cota Piezométrica Mínima (m)
- Pressão no Estado Permanente (mca)
- Pressão Máxima no Estado Transiente (mca)
- Pressão Mínima no Estado Permanente (mca)

- Vazão Máxima no Estado Permanente (mca)
- Vazão Mínima no Estado Permanente (mca)

O usuário poderá optar também por salvar no formato de texto (*.txt) um relatório de cotas e pressões ou de vazões para todos as seções da adutora, clicando no botão *Salvar Arquivo (*.txt)*.

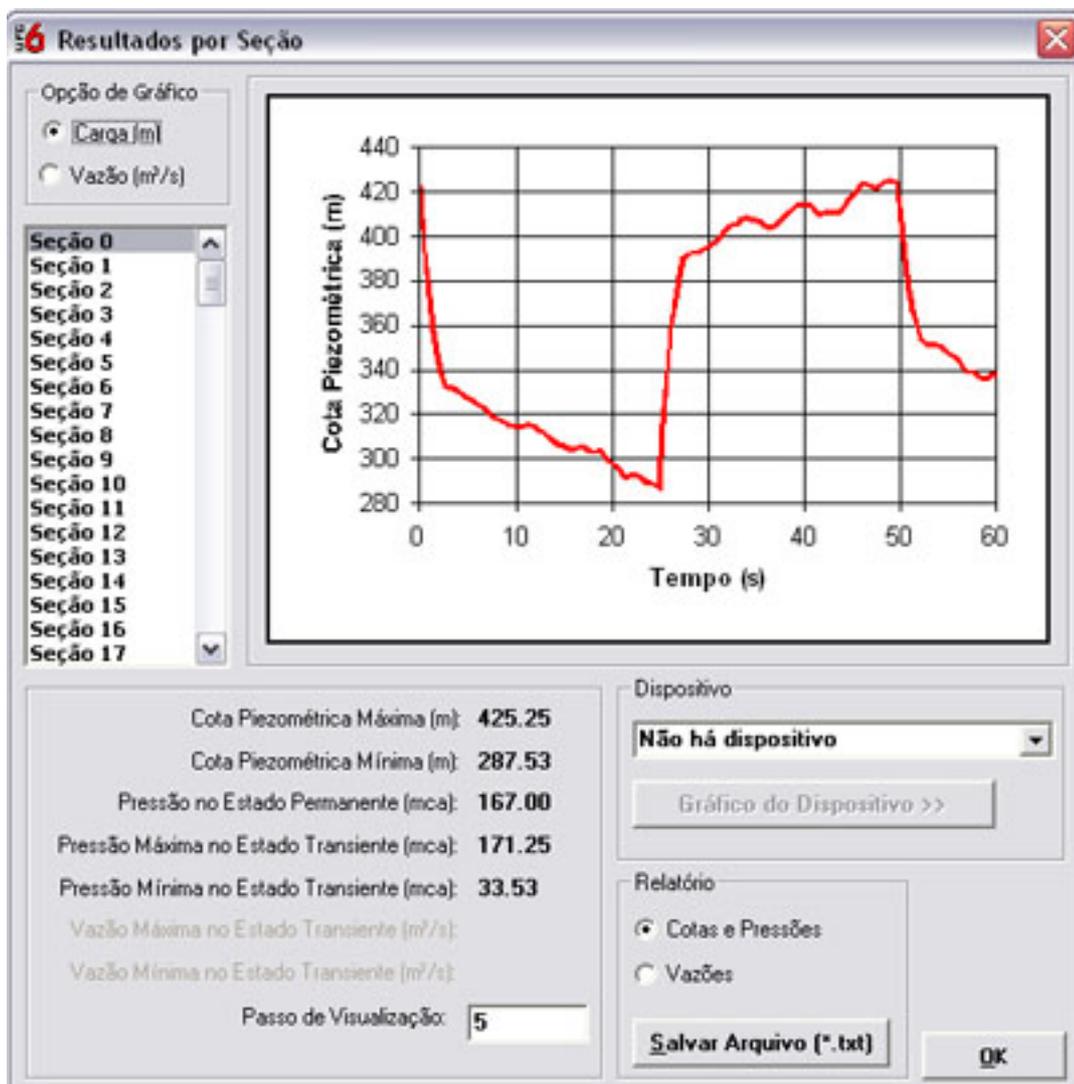



Figura C.17 – Formulário Resultados por Seção

Ainda, através do botão *Gráfico do Dispositivo*, é possível acessar o gráfico que mostra a variação das características de cada dispositivo, como: nível de água (m),

volume de água (m³), vazão (m³/s) e volume de ar (m³). Esses gráficos podem ser fornecidos através do botão *Resultados>>*, do formulário *Dados do Nó*.

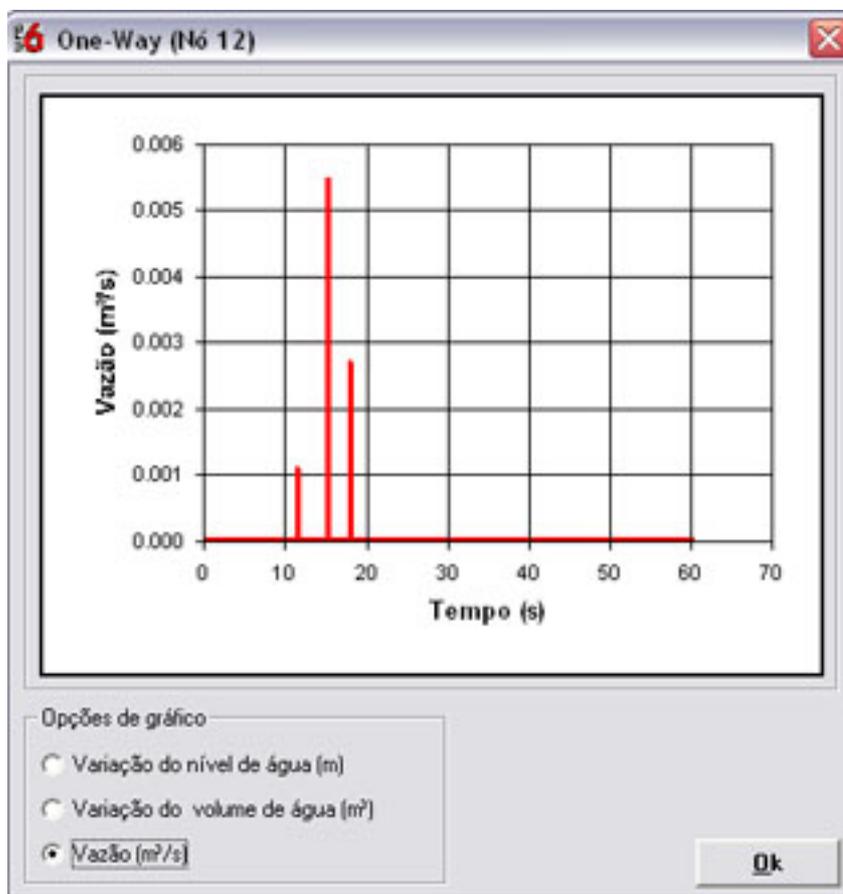



Figura C.18 – Formulário Gráfico One-Way

O usuário poderá proceder de forma análoga para o caso da visualização do transitório nos nós, acessando o menu *Visualizar>Nós*.

Animação das pressões na adutora

Pode-se observar uma animação do comportamento das pressões na adutora.

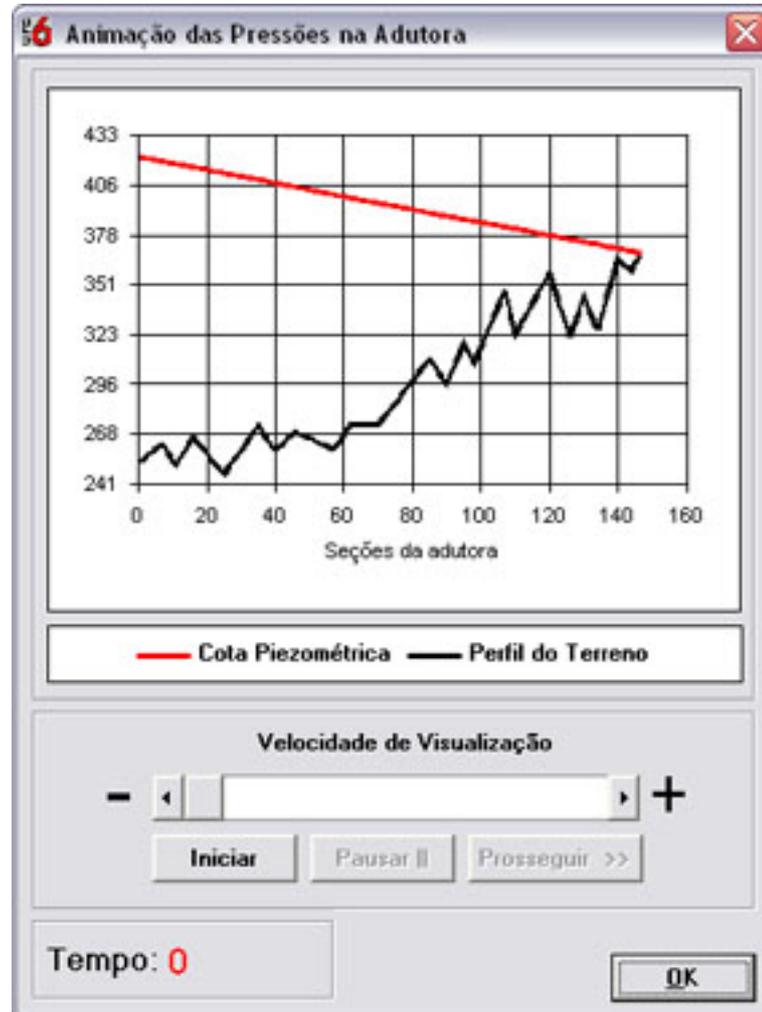



Figura C.19 – Formulário Animação das Pressões na Adutora

Salvando os Resultados

Após executar o procedimento de cálculo, o usuário poderá salvar os resultados, bastando para isso acessar o menu *Arquivo>Salvar Resultados*. O Programa irá salvar o resultado da simulação em um arquivo no formato de texto (*.txt) cujo nome será dado pelo usuário.

C.4 – LIMITAÇÕES DO MODELO

O UFC6 calcula apenas transientes hidráulicos gerados por interrupção do bombeamento, não permitindo, para a atual condição, a análise dos mesmos em sistemas por gravidade.

Por estar em desenvolvimento, o programa não dispõe de todos os elementos de contorno apresentados. Para posterior implementação estão os seguintes elementos: Ventosa, Válvula de Controle, Saída Livre e Extremidade Fechada.

Dessa forma, o modelo mostra flexibilidade somente nos nós internos, pois aceita para o primeiro nó o contorno Reservatório de Montante, Bomba e Válvula de Retenção e para o último, o Reservatório de Jusante.

O sistema a ser avaliado deve possuir no máximo 31 nós, portanto, 30 trechos.

O UFC6 permite, no máximo, 80 subdivisões por trecho. Se esse número for excedido, o programa interrompe a execução do cálculo e sugere o número de divisões a ser efetuada.

C.5 – CRÉDITOS

Sob a orientação do Ph.D Marco Aurélio Holanda de Castro, Professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, as atividades de pesquisa para a elaboração do modelo computacional UFC6 foram iniciadas no ano de 1999, como tema da dissertação de mestrado do Rodrigo Magalhães Neiva Santos. Retomados os trabalhos em 2004, hoje, é parte integrante da presente dissertação de mestrado.

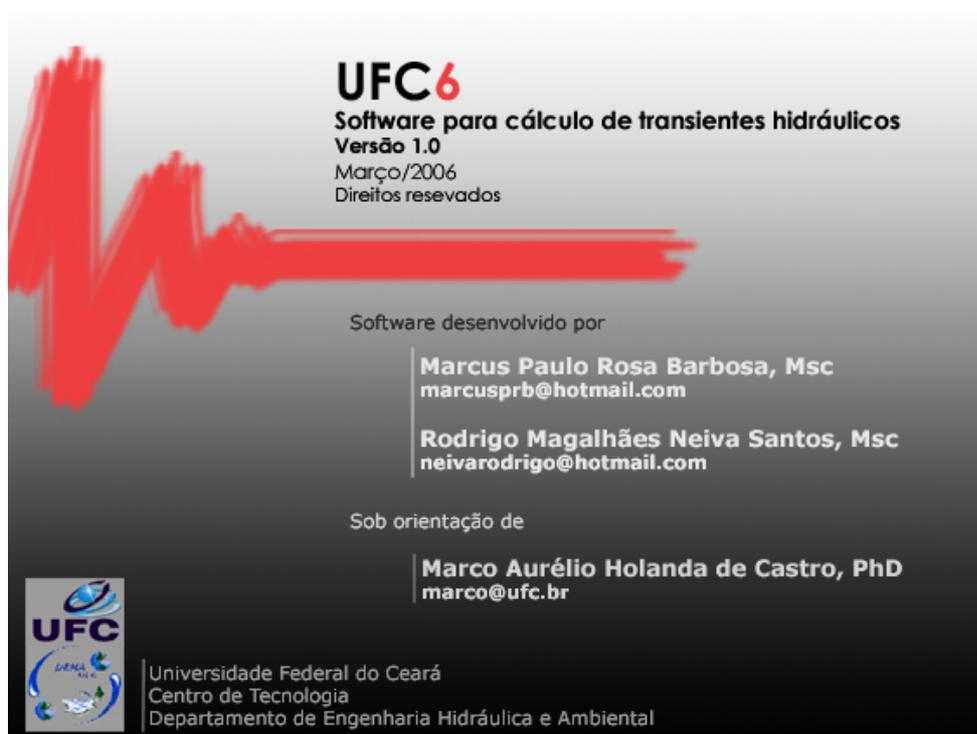



Figura C.20 – Créditos UFC6